

高等职业教育轨道交通控制类规划教材

GUANGXIAN TONGXIN
光纤通信

主 编◎孙 颖

副主编◎李开丽 冀勇钢 李世鹏



西南交通大学出版社

高等职业教育轨道交通控制类规划教材

光纤通信

主 编 孙 颖

副主编 李开丽 冀勇钢 李世鹏

主 审 朱凤文 赵 锐

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

光纤通信 / 孙颖主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2014.8
高等职业教育轨道交通控制类规划教材
ISBN 978-7-5643-3325-6

I. ①光… II. ①孙… III. ①光纤通信 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①TN929.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 196522 号

高等职业教育轨道交通控制类规划教材

光纤通信

主编 孙 颖

责任编辑	李芳芳
特邀编辑	田力智
封面设计	原谋书装
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	四川川印印刷有限公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	16
字 数	398 千字
版 次	2014 年 8 月第 1 版
印 次	2014 年 8 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-3325-6
定 价	35.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前言

光纤通信是轨道交通运输自动控制信息传输的主要手段。从为轨道交通自动控制系统服务的通信骨干网络到用户信息的接入网以及移动通信网络都，离不开光纤通信设备。学习光纤通信基础知识，了解光纤通信系统原理，掌握光纤通信设备的组成和维护方法，掌握光缆施工与维护方法，了解光纤通信的新技术，对于从事交通运输自动控制相关专业的技术人员、管理人员和高职院校的相关专业学生来说都非常重要。

近年来我国的信息化建设推动经济的发展成效显著。目前，信息消费产业已经成为国民经济新的增长点，国家已确定信息消费产业发展的方向。其中一个重要的方面是宽带基础设施的建设，加快宽带网络升级改造，大幅度提高网速和服务质量。光纤通信基础设施的工程和维护需要大量懂得光纤通信施工维护技术的技能型人才。

按照高职院校基于工作过程课程开发的教学改革要求，我们对本教材的内容和结构进行了合理的编排，便于开展“项目导向、任务驱动、理论实践一体化”的教学模式，突出培养学生的职业技能。本书将光传输设备维护和光缆线路维护与测试分别独立成章，与工作任务相结合。

本书内容如下：

第1章介绍光纤通信的基本知识。

第2章介绍光纤光缆的结构、传输特性和光缆施工。

第3章介绍光纤通信器件的结构和工作原理。

第4章介绍光端机的基本原理、备用系统和辅助系统；PDH设备原理与应用；系统指标与测试。

第5章介绍SDH帧结构与复用结构；SDH原理与设备；SDH网络结构；SDH网络管理等。

第6章介绍DWDM技术原理与应用；DWDM的网络单元。

第7章介绍SDH传输设备组成与维护；SDH网络管理系统。

第8章介绍光缆线路维护、测试；光缆线路接续；光缆线路成端等。

第9章介绍光纤通信新技术，包括光纤新技术；光波长锁定技术；偏振模色散补偿技术；OTN技术的应用与发展趋势。

本教材由辽宁铁道职业技术学院的骨干教师和沈阳铁路局锦州电务段工程技术人员共同编写。由辽宁铁道职业技术学院孙颖任主编，辽宁铁道职业技术学院李开丽、冀勇钢、沈阳

铁路局锦州电务段李世鹏任副主编。具体分工如下：第1章、第2章、第3章由李开丽编写；第4章、第5章、第6章、第7章，第8章第4~7节由孙颖编写；第8章第1~3节由李世鹏编写；第9章由冀勇钢编写。

本书由辽宁铁道职业技术学院朱风文副教授和锦州勘察设计院有限公司赵锐高级工程师审阅。他们对本书的编写提出了宝贵的意见和建议。在选题和编写过程中得到了沈阳铁路局锦州电务段、大连电务段、锦州铁道勘察设计院、辽宁铁道职业技术学院电信系及通信技术教研室教师的大力支持。在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，加之作者水平有限，书中有难免存在不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

2014年7月

目 录

第 1 章 光纤通信概述	1
1.1 光纤通信的发展	1
1.2 光纤通信系统的组成及原理	6
1.3 光纤通信的特点	8
本章小结	9
复习思考题	9
第 2 章 光纤和光缆	10
2.1 光纤的结构和类型	10
2.2 光纤的导光原理	12
2.3 光纤传输特性	19
2.4 光纤的测量	22
2.5 光纤的型号	27
2.6 光缆的结构与类型	29
2.7 光缆线路施工	34
本章小结	50
复习思考题	51
第 3 章 通信用光器件	52
3.1 光 源	52
3.2 光电检测器	64
3.3 光放大器	68
3.4 光无源器件	71
本章小结	76
复习思考题	78
第 4 章 光 端 机	79
4.1 光发送机	79
4.2 光接收机	86
4.3 光中继器	90
4.4 备用系统和辅助系统	91
4.5 PDH 光传输系统	93

4.6 PCM 零次群	97
4.7 系统性能及测试	98
4.8 PDH 技术的应用	101
本章小结	105
复习思考题	105
第 5 章 光同步传输网	107
5.1 SDH 的特点	107
5.2 SDH 帧结构	108
5.3 SDH 的映射与复用	112
5.4 SDH 复用原理	114
5.5 定 位	121
5.6 开销字节	124
5.7 SDH 设备原理	128
5.8 网络结构和保护	139
5.9 SDH 光接口参数	147
5.10 SDH 网同步	150
5.11 SDH 网络管理系统	154
5.12 MSTP 简介	157
本章小结	158
复习思考题	158
第 6 章 波分复用技术 (WDM)	162
6.1 波分复用技术基本概念	162
6.2 DWDM 系统的构成	165
6.3 DWDM 设备工作方式	166
6.4 DWDM 的主要技术	167
6.5 DWDM 的几种网络单元类型	167
6.6 光监控信道/通路 (OSC)	170
6.7 DWDM 的应用形式	170
6.8 DWDM 网络的一般组成	171
本章小结	173
复习思考题	174
第 7 章 光传输设备的管理与维护	176
7.1 SDH 传输设备的组成和功能	176
7.2 网络管理系统	180

7.3 SDH 设备维护	183
本章小结	191
复习思考题	192
第 8 章 光缆线路的维护	193
8.1 光缆线路维护用仪表	193
8.2 光缆线路接续	194
8.3 光缆线路全程衰减测试	199
8.4 运用 OTDR 光时域反射仪测量光纤光缆的方法	201
8.5 光缆线路日常维护	208
8.6 光缆线路故障分析与处理	209
8.7 光缆成端	214
本章小结	214
复习思考题	215
第 9 章 光纤通信新技术	217
9.1 光纤新型材料	217
9.2 光纤拉曼放大技术	218
9.3 波长锁定技术	221
9.4 偏振模色散补偿技术	224
9.5 OTN 技术的应用与发展趋势	226
本章小结	246
复习思考题	246
参考文献	248

第 1 章 光纤通信概述

1.1 光纤通信的发展

最早的光通信可以追溯到古代的烽火通信。早在 3000 多年前,我国周朝就有利用烽火台的光传递信息的光通信。这是一种利用可见光进行的视觉通信。

1880 年贝尔发明了第一台光电话机,如图 1.1 所示。它使用弧光灯(或太阳光)作光源,光束通过透镜聚焦在话筒(送话器)的振动镜上。当人对着话筒讲话时,振动片随着话音振动,从而使得反射光的强弱随着话音的强弱作相应的变化,这就将话音信息载荷在光波上(即调制)。在接收端,装有一抛物面接收镜,它把从大气中传送来的载有话音信息的光波反射到硅光电池上,硅光电池将光能转换为电流(即解调)。把电流送到听筒(受话器),就可以听到从发送端传来的声音,只是传输距离很短。

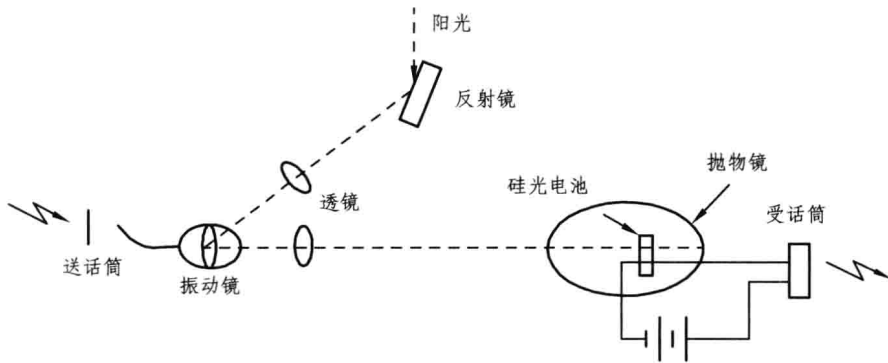


图 1.1 贝尔的光电话

1.1.1 光纤通信的发展

1880 年贝尔发明光电话一直到 1960 年以前,光通信的发展几乎停滞不前,主要原因有以下几个方面:

光源问题:采用日光等光源,由于它们为非相干光,方向性不好,不易调制与传输。传输媒介问题:以空气作传输媒介,损耗很大,无法实现远距离传输,而且通信也极不稳定可靠。光电检测器问题:硅光电池作为光电检测器,内部噪声很大,通信质量难以保证。

这些问题随着光纤的发展都得以解决。

1. 光源问题

1960 年, 美国梅曼 (Maiman) 发明了红宝石激光器, 它发出的是一种谱线很窄、方向性很好、频率和相位一致的相干光, 易于调制和传输。它的发明解决了光源问题。但红宝石激光器发出的光束不易耦合进光纤中传输, 耦合效率极低。

1962 年研制成功镓铝砷 (GaAlAs) 注入式半导体激光器, 优点是发光波长为 850 nm, 与光纤的低衰减窗口一致, 易于耦合, 体积小。缺点是无法在室温下工作, 寿命短。

1970 年研制成功了镓铝砷 (GaAlAs) 双异质结注入式半导体激光器, 它可以在室温下连续工作, 且寿命长。同一时期又发明了发光二极管, 彻底解决了光源问题。

2. 传输媒介问题

光传输媒介主要是采用光纤。据有文字记载的关于光波传播光的实验, 可追溯到 19 世纪。1870 年左右, 欧洲人廷德尔通过实验证明, 光线在自由流下的水流中走的是弯曲路径。

1910 年在进行了大量实验之后, 人们对光纤传光作出了定量分析, 但是由于光纤损耗太大, 限制了其传输距离。

1966 年, 英籍华人科学家高琨 (Charles.K.Kao) 博士发现了普通二氧化硅玻璃损耗大的原因是由于其中杂质所为, 提纯后损耗可降低到 20 dB/km。

1970 年 8 月美国康宁玻璃公司 (Corning Glass Co.) 拉制成功第一根衰减为 20 dB/km 的石英玻璃光导纤维。

随后光纤损耗急剧下降, 到 20 世纪 80 年代左右, 光纤损耗已降低到 0.2 dB/km, 光纤成为了理想的传输媒介。

3. 光电检测器问题

光电检测器件得到了迅速发展, 相继研制成功: 适用于短波长的硅光二极管 (Si-PIN) 和硅雪崩光电二极管 (Si-APD), 适用于长波长的 InGaAsP/InP、Ge 光电二极管 (PIN) 和雪崩光电二极管 (APD) 等。

1.1.2 光纤的发展

最早的光纤于 20 世纪 20 年代采用超纯石英玻璃管用气相沉积法高温拉制而成。优点是导光性能好; 缺点是衰减太大, 约 1 000 dB/km。

1966 年, 英籍华人高琨提出解决玻璃纯度和成分就能获得光传输损耗极低的学说, 并通过实验解决材料问题, 取得举世公认的理论突破。1970 年 8 月, 美国康宁玻璃公司的马勒博士领导的研究小组提出研制低损耗光纤的技术方案, 并随即拉制成功第一根衰减为 20 dB/km 的石英玻璃光导纤维。1972 年, 康宁玻璃公司把高纯石英芯多模光纤的损耗降低到 4 dB/km。1973 年, 美国贝尔实验室把光纤的传输损耗降低到 2.5 dB/km。1974 年, 该实验室利用改进的气相沉积法制出的多模光纤的损耗降低到 1.1 dB/km。1976 年, 日本电报电话公司制造出 0.47 dB/km 的光纤。1977 年, 日本电报电话公司拉制出 200 km, 损耗为 0.32 dB/km 的光纤。1979 年, 利用掺杂的石英系材料制造出长波长单模光纤, 最低损耗可达 0.2 dB/km。进入 20 世纪 80 年代中期损耗变为 0.16 dB/km, 进入实用阶段。

光纤的主要特性是损耗和色散。损耗用衰减系数表示，其单位为 dB/km。

光纤有 3 个低损耗窗口，波长为

$\lambda_0 = 0.85 \mu\text{m}$ 短波长波段

$\lambda_0 = 1.31 \mu\text{m}$ 长波长波段

$\lambda_0 = 1.55 \mu\text{m}$ 长波长波段

1.1.3 光纤通信经历的 4 个重要的历史阶段

1. 第一代光纤通信系统

1966—1976 年，为基础研究到商业应用的开发时期。实现了短波长低速率多模光纤通信，波长为 850 nm，速率为 34 Mbit/s 或 45 Mbit/s，每千米衰减为 1.5 dB，无中继通信距离仅为 10 千米左右。

2. 第二代光纤通信系统

1976—1986 年，以提高传输速率和增加传输距离为目标，采用 1 310 nm 和 1 550 nm 波长，单模光纤，速率为 140 ~ 565 Mbit/s，每千米衰减为 0.85 dB，无中继通信距离仅为 60 千米左右。

3. 第三代光纤通信系统

1986—1996 年，以超大容量超长距离为目标，采用 1 550 nm 的长波长（也称超长波长）激光器，单模光纤，每千米衰减为 0.4 dB，无中继通信距离可达 200 km，速率可达 2.5 ~ 10 Gbit/s。

4. 第四代光纤通信系统

光波分复用系统、超高速系统、全光通信系统等等。

1.1.4 我国光纤通信的发展

当 1970 年国外低损耗光纤取得突破性进展时，我国立即开始了光通信的研究工作。

20 世纪 70 年代末期，我国已能制造多模光纤（衰减为 4 dB/km，波长为 1 300 nm）和发光二极管以及激光器、雪崩光电二极管等。

20 世纪 80 年代末期研制出单模光纤。在开展研究的同时，大力建设光纤通信网，主要有跨省的国家一级长途干线、省内长途干线和本地通信网三种。

在“九五”期间，建设成了“八纵八横”的光缆干线。初步形成了以数字通信为主，多种手段并用，安全可靠，能提供多种业务的现代化数字通信网。

近年来，光纤通信在我国现代通信网中占有更重要的地位。光纤通信系统设备、光纤光缆和光通信器件都取得了长足的发展。我国的光通信系统设备不仅可以满足国内网建设的需要，而且已大量服务于国际通信网络。现在我国的光通信网络是一个覆盖全国的、比较完善的网状网。光纤通信技术在核心网络、城域网和宽带接入网中的应用广泛。

核心网络的通信制式从 1995 年以前以 PDH 为主发展到 SDH 技术, 传输通道从单通道发展到多通道的 DWDM 及 OTN 技术。互联网的发展对传输速率提出了更高的要求。传输速率经历了从 34 Mbit/s、140 Mbit/s、565 Mbit/s 到 622 Mbit/s、2.5 Gbit/s、10 Gbit/s 和 40 Gbit/s。

采用密集波分复用技术进一步提高了系统的容量。例如 160×10 Gbit/s 即 1.6 Tbit/s 的 DWDM 系统和 80×40 Gbit/s 的 DWDM 系统。随着大容量高效直达路由需求的迫切增长, 超长距离传输技术成为核心网发展的又一个方向。我国已掌握了 160×10 Gbit/s 系统无再生距离 3 040 km 的技术, 按理论计算, 可以实现 5 000 km 的无电中继传输。智能化一直是光网络的发展目标, ASON 在原有传送网络的传送平面和管理平面的基础上增加了控制平面。我国研制的基于 10 Gbit/s SDH 的 ASON 系统, 在国内外的网络中都有应用, 在性能上达到国际先进水平。在光纤光缆方面, 我国可以大批量生产 G.655、G.656 光纤。实际应用的主要是 G.652 光纤和 G.655 光纤。

城域网的光纤通信技术在网络上以环网为主, 辅以格形网络进一步提高效率和生存性。技术上向 MSTP 发展。我国的 MSTP 方面无论是标准的制定还是实际应用, 都走在了国际前列。MSTP 依据应用方式不同有基于 SDH 的 MSTP; 或是基于 CWDM 和 DWDM 的 MSTP。基于 DWDM 的 MSTP 很有发展前景, 因为其在 一根光纤上可以承载的业务要比 CWDM 大很多, 与基于 OTN 的 ASON 衔接更为容易。

宽带接入网的必然趋势是光纤到户 (FTTH)。我国已全面实施新建住宅建筑光纤到户。在 FTTH 应用中, 主要采用 2 种技术, 即点到点的 P2P 技术和点到多点的 xPON 技术。在光器件方面, 我国光纤接入用的光器件研究、开发和生产起步较早, 无论是 P2P 还是 xPON 用的器件都比较成熟, 而且有大量出口。特别是用于 xPON 的单纤双向收发模块、单纤三端口收发模块等都具有较高的技术水平, 适用于光接入网的光分路器、光连接器等都可以满足实际应用的需求。由于接入网的环境与核心网和城域网有很大区别, 所以对接入网光纤有特殊的要求。国内有关制造商已经开发出适合于光接入网的各种光纤和光缆, 例如微弯不敏感光纤、室内外光缆、各种室内布线光缆等。还有不少厂家在努力研究塑料光纤, 衰减系数已经达到在 650 nm 窗口 0.2 dB/m 的水平。由于衰减较大, 还不能在接入网中使用。目前光接入网中仍采用各种石英光纤。

1.1.5 光纤通信的发展趋势

光纤通信一直是推动整个通信网络发展的基本动力之一, 是现代电信网络的基础。光纤通信技术发展所涉及的范围, 无论从影响力度还是影响广度来说都已远远超越其本身, 并对整个电信网和信息业产生深远的影响。它的演变和发展结果将在很大程度上决定电信网和信息业的未来大格局, 也将对社会经济发展产生巨大影响。

1. 纳米技术与光纤通信

纳米是长度单位, 为 10^{-9} m, 纳米技术是研究结构尺寸在 1 ~ 100 nm 范围内材料的性质和应用。建立在微米/纳米技术基础上的微电子机械系统 (MEMS) 技术目前正在得到普遍重视。在无线终端领域, 对微型化、高性能和低成本的追求使大家普遍期待能将各种功能单元

集成在一个单一芯片上,即实现 SOC (System on a Chip),而通信工程中大量射频技术的采用使诸如谐振器、滤波器、耦合器等片外分离单元大量存在, MEMS 技术不仅可以克服这些障碍,而且表现出比传统的通信元件具有更优越的内在性能。德国科学家首次在纳米尺度上实现光能转换,这为设计微器件找到了一种潜在的能源,对实现光交换具有重要意义。

可调光学元件的一个主要技术趋势是应用 MEMS 技术。MEMS 技术可使开发就地配置的光器件成为可能,用于光网络的 MEMS 动态元件包括可调的激光器和滤波器、动态增益均衡器、可变光衰减器以及光交叉连接器等。此外, MEMS 技术已经在光交换应用中进入现场试验阶段,基于 MEMS 的光交换机已经能够传递实际的业务数据流,全光 MEMS 光交换机也正在步入商用阶段,继朗讯科技公司的“Lambda-Router”光 MEMS 交换机之后,美国 Calient Networks 公司的光交叉连接装置也采用了光 MEMS 交换机。

2. 光交换是实现高速全光网的关键

光交换是指光纤传送的光信号直接进行交换。长期以来,实现高速全光网一直受交换问题的困扰。因为传统的交换技术需要将数据转换成电信号才能进行交换,然后再转换成光信号进行传输,这些光电转换设备体积过于庞大,并且价格昂贵。而光交换完全克服了这些问题。因此,光交换技术必然是未来通信网交换技术的发展方向。

未来通信网络将是全光网络平台,网络的优化、路由、保护和自愈功能在未来光通信领域越来越重要。光交换技术能够保证网络的可靠性,并能提供灵活的信号路由平台,光交换技术还可以克服纯电子交换形成的容量瓶颈,省去光电转换的笨重庞大的设备,进而大大节省建网和网络升级的成本。若采用全光网技术,将使网络的运行费用节省 70%,设备费用节省 90%。所以说光交换技术代表着人们对光通信技术发展的一种希望。

3. 无源光网络 (PON) 技术

无源光网络是一种很有吸引力的纯介质网络,避免了外部设备的电磁干扰和雷电影响,减少了线路和外部设备的故障率,提高了系统可靠性,同时节省了维护成本,是电信维护部门长期以来期待的技术。无源光网络作为一种新兴的覆盖“最后一公里”的宽带接入光纤技术,其在光分支点不需要节点设备,只需安装一个简单的光分支器即可,因此具有节省光缆资源、带宽资源共享、节省机房投资、设备安全性高、建网速度快、综合建网成本低等优点。

PON 包括 APON、EPON 和 GPON 三种。ATM-PON (APON,即基于 ATM 的无源光网络),APON 在传输质量和维护成本上有很大优势,其发展目前已经比较成熟,国内的烽火通信、华为等厂商都有实用化的 APON 产品。

Ethernet-PON (EPON,基于以太网的无源光网络),EPON 是基于以太网的无源光网络,为了克服 APON 标准缺乏视频能力、带宽不够、过于复杂、造价过高等缺点,EPON 应运而生。EPON 的基本做法是在 G.983 的基础上,设法保留物理层 PON,而以以太网代替 ATM 作为二层协议,构成一个可以提供更大带宽、更低成本和更宽业务能力的新的结合体。

GPON (Gigabit PON),GPON 是一种按照消费者的需求而设计、运营商驱动的解决方案。具有高达 2.4 Gb/s 的速率,能以原格式传送多种业务,效率高达 90%以上,是目前世界上最为先进的 PON 系统,是解决“最后一公里”瓶颈的理想技术。

4. 光孤子通信系统

在常规的线性光纤通信系统中，光纤损耗和色散是限制其传输距离和容量的主要因素。由于光纤制作工艺的不断提高，光纤损耗已接近理论极限，因此光纤色散已成为实现超大容量、超长距离光纤通信的“瓶颈”，亟待解决。人们用了一百多年的时间来探讨，发现由光纤非线性效应所产生的光孤子可以抵消光纤色散的作用，利用光孤子进行通信，可以很好解决这个问题，从而形成了新一代光纤通信系统，也是 21 世纪最有发展前途的通信方式。人们设想在光纤中波形、幅度、速度不变的波就是光孤子波，利用光孤子传输信息的新一代光纤通信系统，真正做到全光通信，无需光、电转换，可在超长距离、超大容量传输中大显身手，是光通信技术上的—场革命。

目前已提出的光孤子通信实验系统的构成方式种类较多，但其基本部件却大体相同，孤子源并非严格意义上的孤子激光器，而只是一种类似孤子的超短光脉冲源，它产生满足基本光孤子能量、频谱等要求的超短脉冲。这种超短光脉冲，在光纤中传输时自动压缩、整形而形成光孤子。电信号脉冲源通过调制器将信号载于光孤子流上，承载的光孤子流经 EDFA 放大后进入光纤传输。沿途需增加若干个光放大器，以补偿光脉冲的能量损失。同时需平衡非线性效应与色散效应，最终保证脉冲的幅度与形状稳定不变。在接收端通过光孤子检测装置、判决器或解调器及其他辅助装置实现信号的还原。

1.2 光纤通信系统的组成及原理

光纤通信是指采用光导纤维（即光纤）作为传光媒介的通信方式。即在光通信中，传输媒介不是空气，而是光导纤维。

光纤通信系统一般由电端机（收发）、光发射机、光接收机、光中继器以及光缆等组成，如图 1.2、图 1.3 所示。



图 1.2 光纤通信系统的组成原理框图

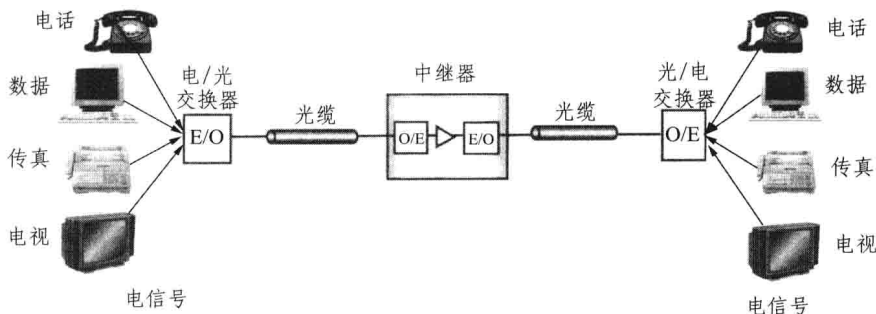


图 1.3 光纤通信示意图

1.2.1 发送电端机

发送电端机主要完成电信号的处理工作，如调制等，然后送往光发射机。电端机既可以送出模拟信号，也可以送出数字信号。输出模拟信号的电端机一般是载波机或电视发送设备，对应的光纤通信系统称为模拟光纤通信系统。输出数字信号的电端机主要有脉冲编码调制（PCM）设备，对应的光纤通信系统称为数字光纤通信系统。

1.2.2 光发射机

光发射机是将发送电端机送来的电信号转换为光信号，并送进光缆中进行传输。电光转换主要由光源器件来完成。目前光源器件包括半导体激光二极管和发光二极管。激光二极管发射激光，功率大，波谱窄，适用于大容量、远距离的光纤通信系统。发光二极管发射荧光，功率小，波谱宽，适用于小容量、短距离的光纤通信系统。

1.2.3 光 缆

光缆作为传输媒介，主要任务是传送光信号。光缆是由若干根光纤组成，依据使用的需要，光纤数目也不尽相同。通常，一根光纤传送一个方向的光信号，故双向通信需要两根光纤。但采用波分复用技术后，一根光纤便可实现双向传输。

1.2.4 光中继器

光中继器是将传输一段距离后的光信号进行放大，以实现远距离传输。目前，常用的中继方式是光/电/光再生方式，即首先通过光电转换将接收到的微弱光信号转换为电信号，然后对电信号进行放大处理，最后再经过电光转换器转换为光信号，耦合进光纤中继续传输。

1.2.5 光接收机

光接收机是将接收到的光信号还原为电信号，然后送到接收电端机。光电转换主要由光电检测器来完成。目前常用的有PIN光电二极管和雪崩光电二极管（APD）两种。后者在转换的同时，还可利用雪崩效应对光信号进行放大，有利于提高接收灵敏度。

1.2.6 接收电端机

接收电端机的作用同发送电端机的作用相反，如解调等。

1.3 光纤通信的特点

光纤通信之所以成为通信工具的王牌，是因为它具有以往的任何通信方式不可比拟的优越性。

1.3.1 频率高、频带宽

频带的宽窄代表传输容量的大小。载波频率越高，可以传输信号的频带宽度就越宽。光纤通信使用的频率极高，可见光的频率高达 THz，比甚高频频段（VHF）高出百万倍，比特高频频段（UHF）高出十万倍。

1.3.2 通信容量大

载波的频率越高，所能携带的信息量就越大。从理论上讲，一根头发丝粗细的光纤可以同时传输 100 亿话路，虽然目前并没有达到如此高的传输容量，但用一根光纤传输 50 万个话路的实验已经取得成功，比传统的同轴电缆、微波等要高出几十万倍以上，如果再加上波分复用技术把一根光纤当作几十根、几百根光纤，其通信容量之大就更加惊人了。

1.3.3 保密性能好

由于光纤的特殊结构，光波只能在光纤中传播，泄露极其微弱，很难窃听光纤中的传输信号，故其保密性能好；且可经过高温、低温和危险地段等。

1.3.4 损耗小、中继距离长

由于光纤的损耗比电缆等传输媒介的损耗小得多，故其中继距离特别长，一般为几百千米，甚至更长。

1.3.5 抗干扰能力强

由于光纤是绝缘体，不怕雷击和高压等电磁干扰。同时，光波的频率极高，而各种干扰频率一般较低，故其抗干扰能力极强。

1.3.6 成本低、寿命长

石英玻璃原料丰富，只用数克石英便可拉制出 1 km 的光纤，质量轻，使用寿命长，一般为 25 年以上。

**本章小结**

光纤通信正向长距离、大容量、智能化的方向发展。

最基本的光纤通信系统一般由电端机（收发）、光发射机、光接收机、光中继器以及光缆等组成。电端机主要完成电信号的处理工作；光发射机是将发送电端机送来的电信号转换为光信号，并送进光缆中进行传输；光缆作为传输媒介，主要任务是传送光信号；光中继器是将传输一段距离后的光信号进行放大，以实现远距离传输；光接收机是将接收到的光信号还原为电信号，然后送到接收电端机。

光纤通信系统主要部件有光纤光缆、光源（LD 和 LED）、光电检测器（PIN 和 APD）、光放大器、光无源器件等。

**复习思考题**

1. 什么是光纤通信？
2. 光纤通信的 3 个传输窗口是什么？
3. 光纤通信系统由哪些部分组成？
4. 光纤通信有哪些特点？
5. 光纤通信向哪些方面发展？